Facultad: Ingeniería.
Escuela: Electrónica
Asignatura: Control Digital

Tema: Controladores ON OFF y PID Digital.
Lugar de ejecución: Taller de Electrónica
(Laboratorio: Instrumentación y Control).
Tiempo de ejecución: 2 hrs.

Objetivos específicos

- Crear un sistema de regulación con un control ON OFF o Todo y Nada Digital.
- Analizar el efecto de la histéresis en el control de un sistema de regulación.
- Crear un sistema de regulación con un control PID Digital.
- Encontrar la respuesta de lazo abierto de una planta.
- Calibrar el controlador basados en la respuesta a lazo abierto.
- Analizar el efecto de la regulación el control de un sistema de regulación.

Introducción Teórica

ON-OFF Digital

El programa "Regulador de dos posiciones PC/I" simula, en combinación con la interfaz LN-PC (LM8912, llamada en lo sucesivo PC/I), un regulador de dos posiciones, habiéndose previsto como campo de aplicación el área de las regulaciones lentas. El programa no puede reemplazar un regulador industrial, ni es ése su propósito; la finalidad principal es la ilustración del funcionamiento de un regulador de dos posiciones y de ubicación en un circuito cerrado de regulación.

La PC (y no el PC/I) lleva a cabo la regulación. Esto no representa desventajas en las regulaciones lentas, si se observan algunos puntos. Puesto que bajo Windows no es posible un "multitarea" auténtico (el regulador sigue funcionando, no importando qué otras cosas haga Ud.), Ud. puede detener el regulador mediante determinadas acciones, p. ej. Al desplazar o achicar las ventanas. Dependiendo de la planta conectada, esto puede producir efectos indeseados.

Se pueden analizar los siguientes puntos:

- Montaje elemental de un circuito cerrado de regulación en diagrama de bloques con especificación de las señales conforme a la norma.
- Principio de funcionamiento y respuesta de regulación de un regulador de dos posiciones.
- Respuesta del regulador en función de la posición del valor de referencia.
- Influencia de la histéresis del regulador sobre la respuesta del regulador.
- Limitaciones para el uso de un regulador de dos posiciones.
- Determinación gráfica de los valores característicos de una planta de regulación.

El programa también puede funcionar sin el PC/I. En este caso, el programa simula plantas elementales, de modo que se puede trabajar con el programa aún sin disponer de un montaje experimental concreto.

PID Digital

El programa "Regulador PID PC/I", en combinación con la interfaz LN-PC (LM8912, llamada en lo sucesivo PC/I), representa un regulador de tipo universal, soporta los componentes P, I y D como también todas las

Propiedad de la Universidad Don Bosco Prohibida su reproducción total o parcial para otros fines 2010

posibles combinaciones de ellos. La tarea de la regulación la lleva acabo la PC/I (y no la PC), de modo que la respuesta del regulador no depende de la velocidad de la PC. La última tiene la tarea de ajustar los parámetros del controlador junto con la presentación gráfica de diferentes variables del regulador.

Se pueden analizar los siguientes puntos:

- Montaje elemental de un circuito cerrado de regulación en diagrama de bloques con especificación de las señales conforme a la norma.
- Principio de funcionamiento y respuesta de regulación de varios tipos de regulador; P, I, D y cualquier combinación de ellos. Tiene la opción de dos reguladores PID en cascada.
- Respuesta del regulador en función de la posición del valor de referencia.
- Efectos de los parámetros del regulador sobre la respuesta del regulador.
- Efectos de la zona muerta, en la respuesta de la acción de control.
- Limitaciones para el uso de tipos de regulador individuales.
- Determinación gráfica de los valores característicos de una planta de regulación.
- Establecimiento de los parámetros óptimos del regulador.
- Evaluación de la calidad del sistema de control.

El programa también puede funcionar sin el PC/I. En este caso, el programa simula plantas elementales, de modo que se puede trabajar con el programa aún sin disponer de un montaje experimental concreto.

Materiales y equipos

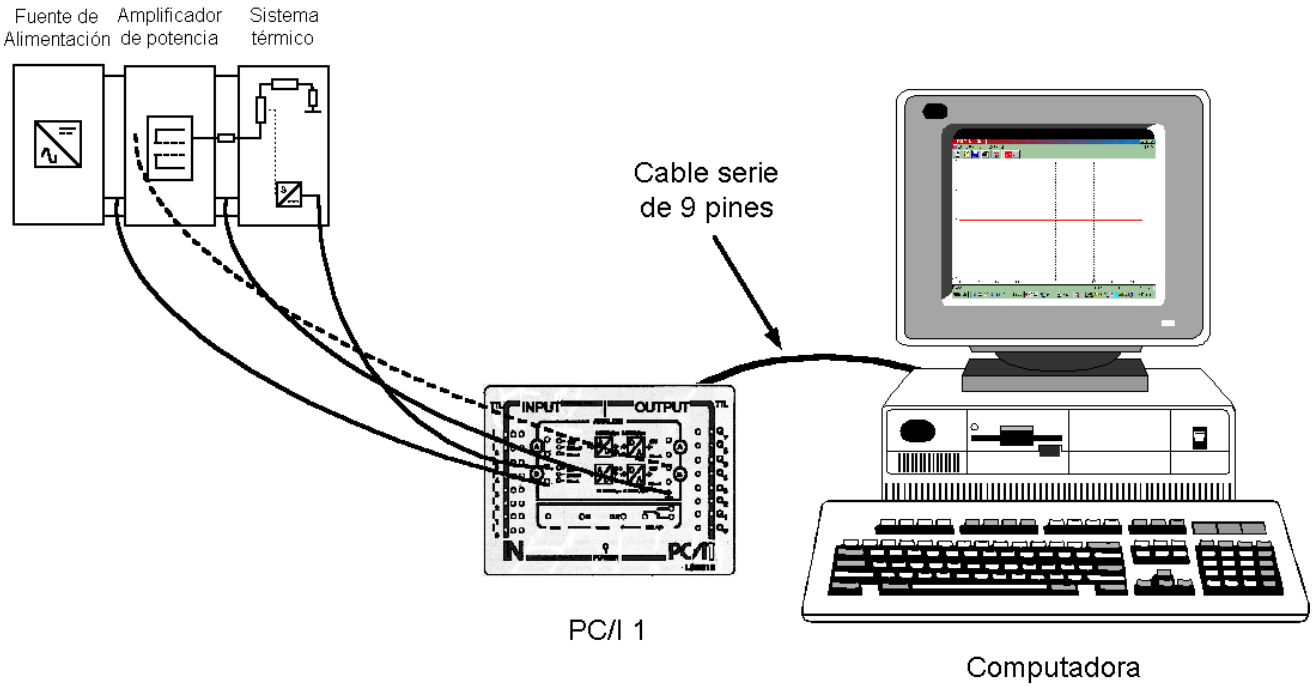
1 Computadora con sistema operativo Windows 95 o superior.
1 Amplificador de potencia. SO3536-7Q.
1 Fuente de alimentación DC ±15V. SO3538-8D.
1 Una planta de regulación de temperatura SO3536-8T.
1 La interfaz de PC (LM8912).
1 Software del programa del Regulador de dos posiciones PC/I.

Procedimiento

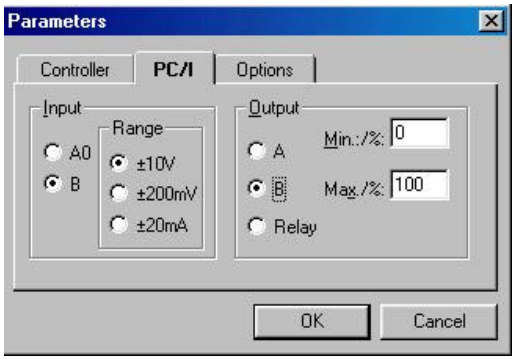
Parte I.

1. Efectúe el cableado del montaje de experimentación. Para ello una la salida analógica B de la PC/I con la entrada de la planta (en nuestro ejemplo es esta la entrada del amplificador de potencia) y la entrada analógica B de la PC/I con la salida de la planta (en este caso la salida del sensor de temperatura o nivel). Usamos la entrada B de la PC/I, ya que posee una resolución mayor que la entrada A.

Propiedad de la Universidad Don Bosco Prohibida su reproducción total o parcial para otros fines 2010



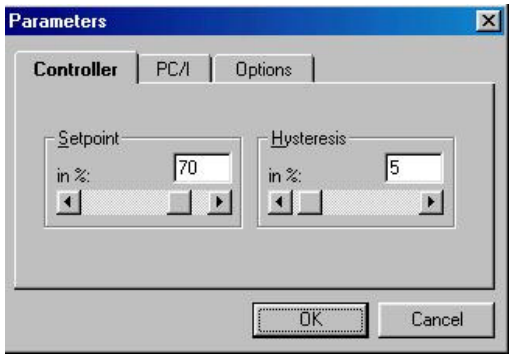
2. Inicie el programa del regulador de dos posiciones.
3. Para adaptar la PC/I a nuestro montaje experimental, elija primero en el menú **Settings** la opción **Controller Parameter…** y de alli seleccione **PC/I**:



4. En el área de diálogo que aparece podemos controlar estos valores. Para las tensiones de salida del regulador están preajustados los valores 0 % (0 Voltios) como mínimo (ese es el estado OFF (desconectado)) y 100% (10 voltios) para el máximo (estado ON (conectado)). Es decir, todos los ajustes están tal como las necesidades; podemos abandonar nuevamente el área de diálogo.

5. Fije los parámetros del regulador. Para ello elija la opción **Controller** del menú **Controller Parameter…**.

Propiedad de la Universidad Don Bosco Prohibida su reproducción total o parcial para otros fines 2010

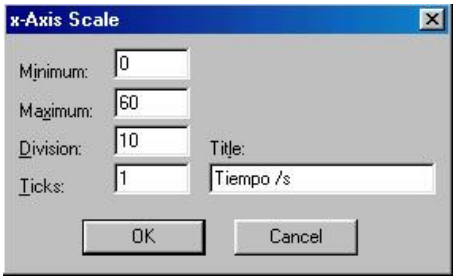


6. Ajustamos aquí un valor de referencia de 70% y una histéresis de 5% (para el sistema hidráulico será un referencia de 40% y una histéresis de 10%). Estos valores corresponden en nuestra planta a una temperatura de 35º C para el valor de referencia y 2.5º C para la histéresis. El umbral superior de conmutación se encuentra por lo tanto en los 37.5º c y el inferior en 32.5º C. Presione OK.

7. Con ello ha realizado todos los ajustes necesarios y puede iniciar la regulación. Para ello activamos la opción **Start Controller** del menú **Settings**; el renglón del menú cambia y comienza el proceso de regulación. Ahora podemos observar las variaciones de los diferentes valores en el esquema en bloques.

8. Observe la variación en el tiempo del valor de regulación. Primero abandone al regulación activando la opción **Start Controller** del menú **Settings**. Aparece nuevamente el menú principal. Elija la opción **Timing Chart** del menú **View**. Desaparece con ello la representación del diagrama de bloques y en su lugar aparece un diagrama (aún vacío) para la magnitud regulada y para la histéresis. Vuelva a iniciar la regulación y observe ahora la variación en el tiempo de la magnitud regulada.

9. El resultado obtenido aún no es demasiado satisfactorio, ya que no se reconoce nítidamente la respuesta típica del regulador. Esto se puede cambiar fácilmente aumentando el rango de tiempo indicado. Para ello finalice el proceso de regulación, seleccione la opción **x-Axis Scale…** en el menú **Chart** y escriba en la caja de texto el valor 60 para el máximo de tiempo y el valor 10 para la división. Ya que esté en esto, aproveche de nombrar el eje:



10. A continuación, vuelva iniciar la regulación. Ahora obtendrá un resultado que ilustra mucho mejor la respuesta de un regulador de dos posiciones.
11. Variando el valor de referencia y la histéresis puede observar la influencia de estos parámetros sobre la respuesta de regulación.
12. Finalmente muestre cómo se puede registrar, con la ayuda del programa, la respuesta al escalón de la planta.

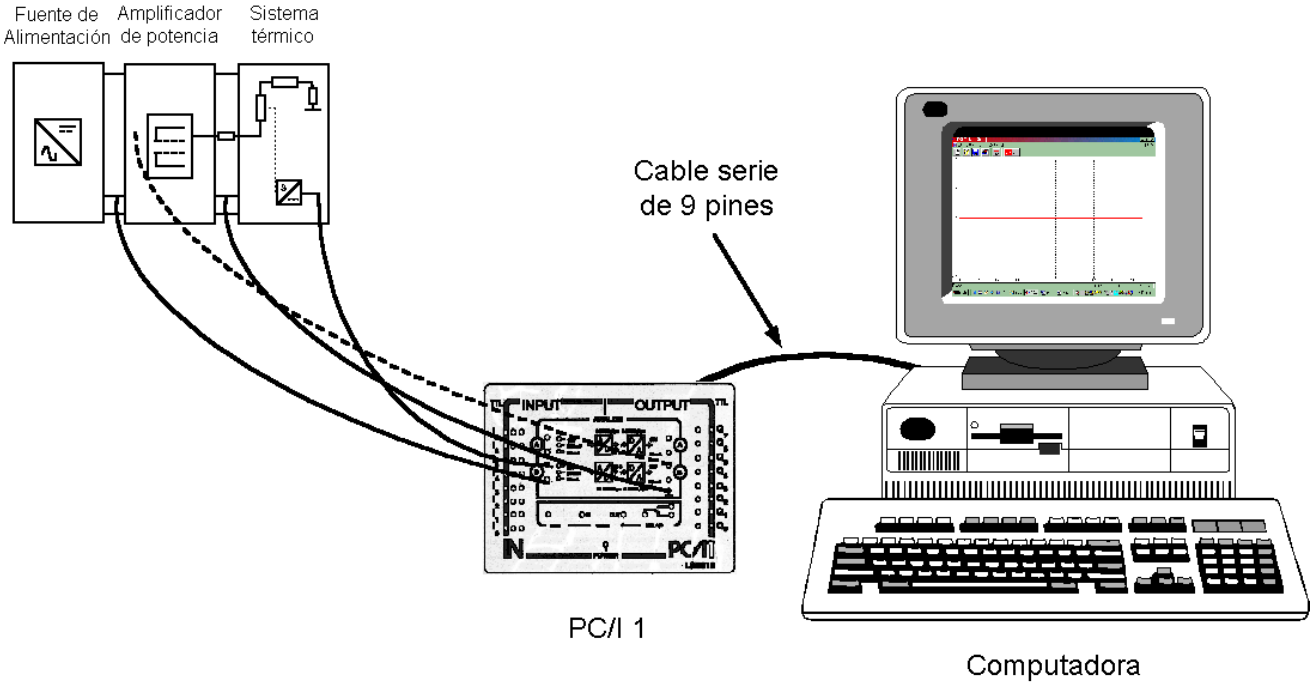
13. Deje que el sistema se enfríe o se vacíe.
14. Luego basta con elegir un valor de referencia tan elevado, que no se pueda alcanzar en régimen normal.

Propiedad de la Universidad Don Bosco Prohibida su reproducción total o parcial para otros fines 2010

15. Luego ponga en marcha el regulador. Un poco antes de alcanzar el valor temporal máximo. Interrumpa el proceso de regulación para evitar que se borre la pantalla.
16. En base a la curva generada se pueden determinar gráficamente los parámetros de la planta (T_u y T_g).

Parte II.

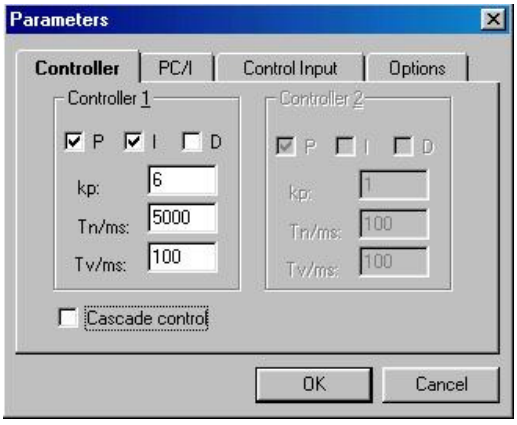
17. Efectúe el cableado del montaje de experimentación. Para ello una la salida analógica B de la PC/I con la entrada de la planta (en nuestro ejemplo es esta la entrada del amplificador de potencia) y la entrada analógica B de la PC/I con la salida de la planta (en este caso la salida del sensor de temperatura o nivel). Usamos la entrada B de la PC/I, ya que posee una resolución mayor que la entrada A.



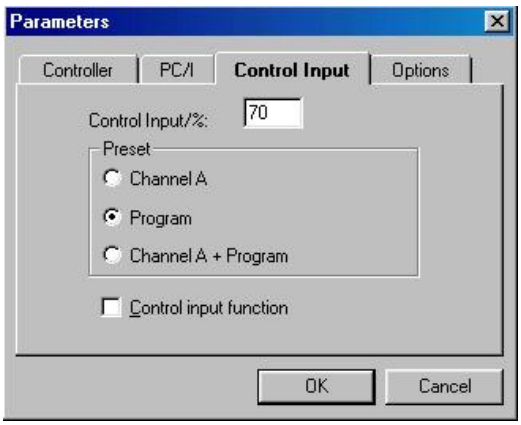
18. Inicie el programa del regulador PID (PID-Controller). Inicialmente, una ventana se presenta con el mensaje que el programa del Regulador se está trasfiriendo a la PC/I, seguido por el diagrama de bloques del sistema de regulación.
19. Ahora defina los parámetros del Regulador. Elija primero en el menú **Settings** la opción **Controller Parameter…** y de alli seleccione **Controller**:

20. Para adaptar la PC/I a nuestro montaje experimental, elija primero en el menú **Settings** la opción **Controller Parameter…** y de alli seleccione **PC/I**:

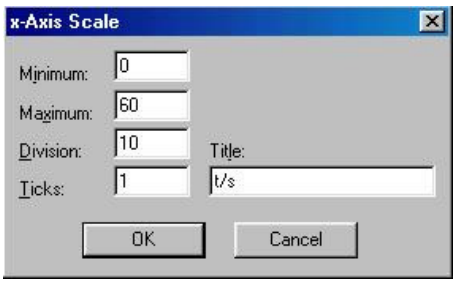
Propiedad de la Universidad Don Bosco Prohibida su reproducción total o parcial para otros fines 2010



21. Active las opciones P e I de modo que el Regulador funcione como un controlador-PI. Escriba 6 para la ganancia kp y 5000 para el tiempo de acción integral. Estos son valores estimados para los parámetros del regulador; luego veremos como optimizar la calibración del Regulador..
22. Coloque el valor para la entrada de referencia o consigna: en el menú **Settings** pulse sobre **Control Input** y en la caja de texto escriba el valor 70 para el sistema térmico (50 para el sistema hidráulico) y pulse el botón OK.



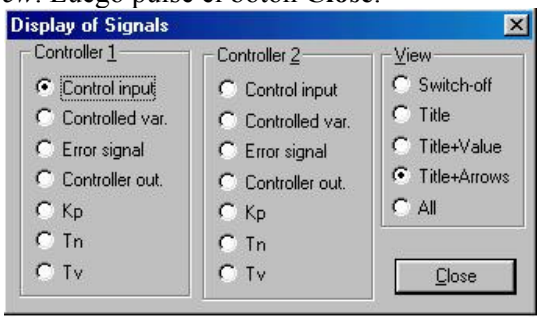
23. En **Options** puede habilitar la casilla de **Controller runs continuous** para que el regulador no se detenga al final del tiempo en la gráfica, aunque esto por ahora, no es necesario.
24. Se necesita la respuesta en el tiempo de la planta para su observación: del menú **View**, seleccione la opción **Timing Chart**.
25. Finalmente, las divisiones de los ejes del sistema de coordenadas serán cambiadas, Seleccione del menú **Chart** la opción **x-Axis Scale…** y en las cajas de texto, coloque el máximo del eje del tiempo en 60 y la división a 10.



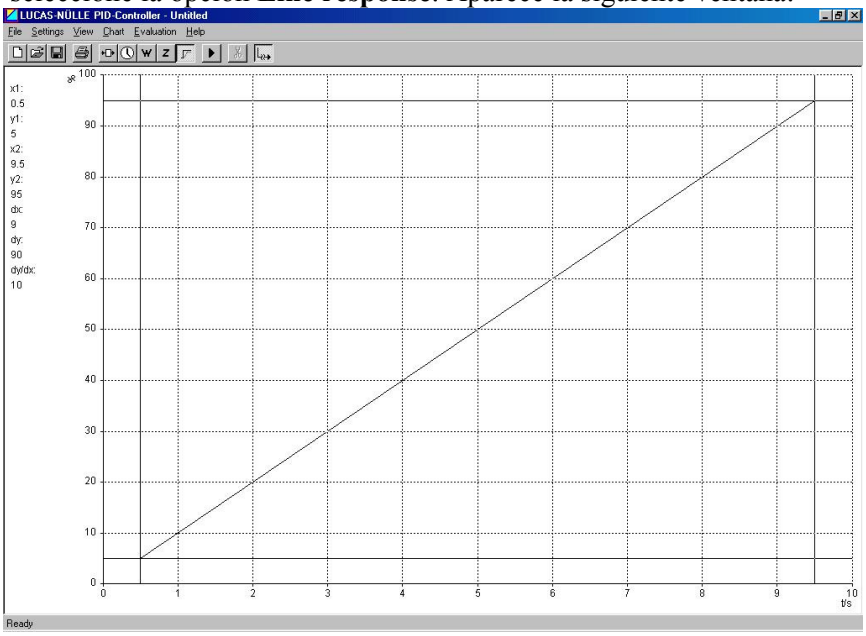
26. Pulse sobre el botón OK

Propiedad de la Universidad Don Bosco Prohibida su reproducción total o parcial para otros fines 2010

27. Debe definir ahora, qué se presentará en el diagrama de tiempo: En el menú **View**, active la opción **Display Signals…**
28. Seleccione, en secuencia para el controlador 1, los botones de opción **Control Input**, **Controled variable** y **Controller output** y para el primer caso selección **Title+Arrows** y para todos los restantes casos, seleccione **Title+Value** en *View*. Luego pulse el botón **Close**.

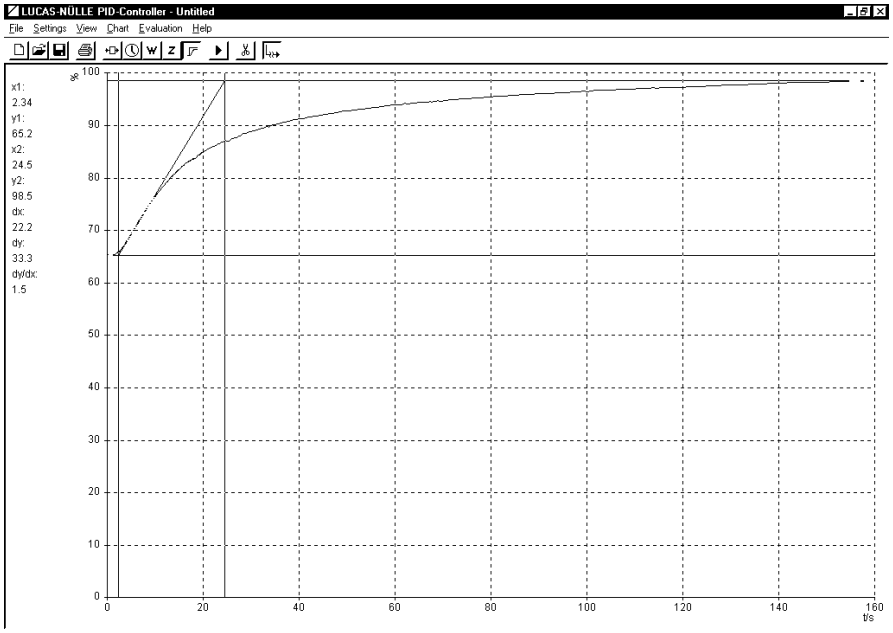


29. Puede cambiar el color y la forma de los trazos escogiendo **Signals…** del menú **Chart**.
30. Con ello ha realizado todos los ajustes necesarios y puede iniciar la regulación: Para ello activamos la opción **Start Controller** del menú **Settings**; la respuesta de las variables individuales pueden observarse en la pantalla.
31. Sin ningún análisis exhaustivo, puede notar que los parámetros del regulador seleccionados no son los óptimos. Es posible tratar de de mejorar la calidad del control cambiando los valores de los parámetros del controlador. Sin embargo, un método más sofisticado para establecer la calibración óptima se demostrará aquí.
32. Del menú **View** seleccione la opción **Line response**. Aparece la siguiente ventana:



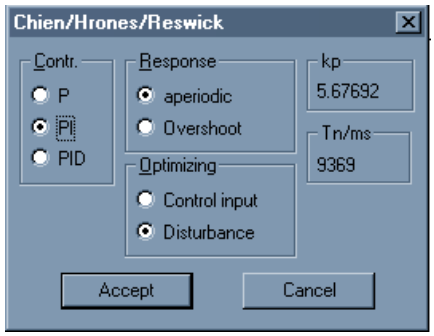
33. Seleccione del menú **Settings** la opción **Start Measurement**, el registro de la respuesta de la planta aparece.
34. Para terminar la medición (en aproximadamente 160s) presione F5. La tangencia en el punto de inflexión, se aplica a la curva medida; los valores correspondientes se presentan a la izquierda de la ventana.

Propiedad de la Universidad Don Bosco Prohibida su reproducción total o parcial para otros fines 2010



Aparentemente, la planta tiene compensación y es de orden superior (o cuadrática) con retraso; el criterio de ajuste puede establecerse, de ese modo, de acuerdo con el método de Chien, Hrones & Reswick.

35. Del menú **Evaluation** escoja la opción Chien, Hrones & Reswick… En la ventana aparecen los valores calculados de las tangentes se muestran:



36. Para transferir los valores calculados al regulador, se debe de pulsar el botón **Accept**.
37. Seleccione el menú **View**, y de allí la opción **Timing Chart**. Aquí puede ser necesario que le coloque el doble de tiempo al eje X y que habilite la casilla **Controller runs continuous** del menú **Options** en **Settings**.
38. Vuelva a iniciar la regulación (puede presionar F5).
39. Ahora cambie súbitamente la entrada de control, para evaluar la respuesta de la planta. (Recuerde que con el puntero del ratón sobre una flecha en la caja w% de la barra de herramientas a la izquierda, pulsar sobre la entrada de referencia hace que cambie en pasos de 1%; si se mantiene presionada la tecla ctrl. Y se pulsa el botón de flecha, los cambios son en pasos de 10%).
40. Se pueden cambiar los parámetros del regulador para intentar optimizar aún más la respuesta del controlador, o para lograr una respuesta a requerimientos personales.
41. Salga de los programas, apague y desconecte el equipo.

Propiedad de la Universidad Don Bosco Prohibida su reproducción total o parcial para otros fines 2010

Análisis de resultado

1. Presente las gráficas de regulación de su controlador ON-OFF y PID.
2. ¿Qué relación puede encontrar entre el aumento de la histéresis y la amplitud y período de oscilación?
3. ¿Afecta el tiempo muerto a la amplitud y periodos de oscilación?
4. ¿Cuál es la calidad del regulador (para un tiempo de 60 segundos) con los parámetros PI colocados como al inicio, con respecto a los calibrados con el método de Chien, Hrones & Reswick?
5. ¿Es necesario cambiar alguna conexión en el circuito, para realizar un control ON-OFF y luego uno PID? Explique.
6. ¿Se podría realizar el método de calibración de Ziegler&Nichols a lazo cerrado con este regulador PID digital? Explique.

Investigación Complementaria

1. ¿Puede un sistema continuo volverse inestable cuando se hace discreto y con un regulador de dos posiciones?
2. ¿Cuál es la función de transferencia que debe implementarse para realizar un regulador PID en un sistema microprocesado?

Bibliografía

- Ogata, Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna, Segunda Edición Edit. Prentice Hall. 1993. México.
- Regulador de dos puntos PC/I. Instrucciones de servicio. 3a. Edición. Lucas-Nülle. 1993
- Operating Instructions. PID – Controller for Microsoft® Windows. 2a. Edición. Lucas-Nülle. 1990.

Propiedad de la Universidad Don Bosco Prohibida su reproducción total o parcial para otros fines 2010